

Секция 1. Проблемы прочности, пластичности и усталостной долговечности
современных конструкционных материалов

**СТРУКТУРА И ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СПЛАВА Zr-1Nb
В УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОМ СОСТОЯНИИ**

A.C. ДУБРОВСКАЯ¹, Г.П. ГРАБОВЕЦКАЯ²

¹ Томский политехнический университет

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: anndubrov@yandex.ru

STRUCTURE AND THERMAL STABILITY OF ULTRAFINE Zr-1Nb ALLOY

A.S. DUBROVSKAYA¹, G.P. GRABOVETSKAYA²

¹ Tomsk Polytechnic University

² Institute of Strength Physics and Materials Science

E-mail: anndubrov@yandex.ru

Annotation. *The effect of annealing in the temperature range 573-873 K on the thermal stability of the structure and mechanical properties of ultrafine Zr-1Nb alloy were studied by transmission electron microscopy.*

Введение

Формирование ультрамелкозернистой структуры в металлических материалах позволяет существенно повысить их прочностные и служебные характеристики [1, 2]. К настоящему времени разработан ряд методов формирования ультрамелкозернистого состояния в металлических материалах с помощью интенсивной пластической деформации (ИПД) [1].

Однако сформированное методами ИПД ультрамелкозернистое состояние в металлических материалах характеризуются наличием высоких плотностей решеточных и зернограницных дислокаций, упругих искажений решетки и дальнотечующих полей напряжений и вследствие этого является неравновесным. Это обуславливает большой интерес к исследованиям, направленным на разработку способов стабилизации ультрамелкозернистого состояния. Одним из перспективных способов повышения стабильности ультрамелкозернистого состояния и механических свойств металлических материалов является формирование в них внутренней структуры, сочетающей несколько структурных элементов (или фаз) разной дисперсности (композита [3]). Такая ультрамелкозернистой структура, как показано в [4] может быть сформирована методами ИПД в гетерофазных сплавах. В этой связи актуальными являются исследования закономерностей развития в сплавах с ультрамелкозернистой гетерофазной структурой процесса рекристаллизации.

Целью данной работы является экспериментальное исследование термостабильности ультрамелкозернистой структуры сплава Zr-1Nb.

Материал и методы исследования. В качестве материалов для исследования в работе был выбран промышленный гетерофазный сплав циркония Zr-1мас.%Nb (далее Zr-1Nb). Данный сплав является незаменимым конструкционным материалом для активной зоны атомных реакторов. В связи с этим эксплуатационные температуры изделий из данного материала достигают 593-673 К. Такие температуры могут вызвать в УМЗ сплавах циркония деградацию структуры и, как следствие, изменение структурно чувствительных свойств.

Ультрамелкозернистая структура в сплаве была сформирована одним из методов ИПД – прессованием со сменой оси деформации и с постепенным понижением температуры в интервале 973-623 К [5].

Исследование термостабильности ультрамелкозернистой структуры сплава Zr-1Nb было проведено путем отжига в интервале температур 573 - 873 К. Структуру сплава исследовали с помощью просвечивающего электронного (марка JEM-2100) микроскопа. Размеры структурных элементов сплава в ультрамелкозернистом состоянии измеряли на фотографиях темнопольного изображения микроструктуры методом секущей. Выборка составляла не менее 200 элементов.

Микротвёрдость образцов измеряли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой на пирамидку Виккерса 50 г. Время нагружения составляло 15 с.

Результаты и их обсуждение. Типичное электронно-микроскопическое изображение структуры сплава Zr-1Nb в ультрамелкозернистом состоянии представлено на рис. 1 (а). На электронограммах такой структуры (рис. 1, а), снятых с площади $1,4 \text{ мкм}^2$, наблюдаются дифракционные кольца, образованные рефlekсами от отдельных кристаллитов. При этом почти все рефlekсы имеют азимутальное размытие. Такой вид электронограмм является типичным для ультрамелкозернистых металлических материалов, полученных методом ИПД, и свидетельствует о значительном количестве элементов в единице объема, наличии большеугловых разориентировок между ними и присутствии упругих напряжений в отдельных элементах [1, 2]. Средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры исследуемого сплава Zr-1Nb, определенный по темнопольному изображению составляет $0,3 \pm 0,1 \text{ мкм}$. Объемная доля частиц вторичных фаз в ультрамелкозернистой структуре не превышает $\sim 0,5 \text{ об.}\%$.

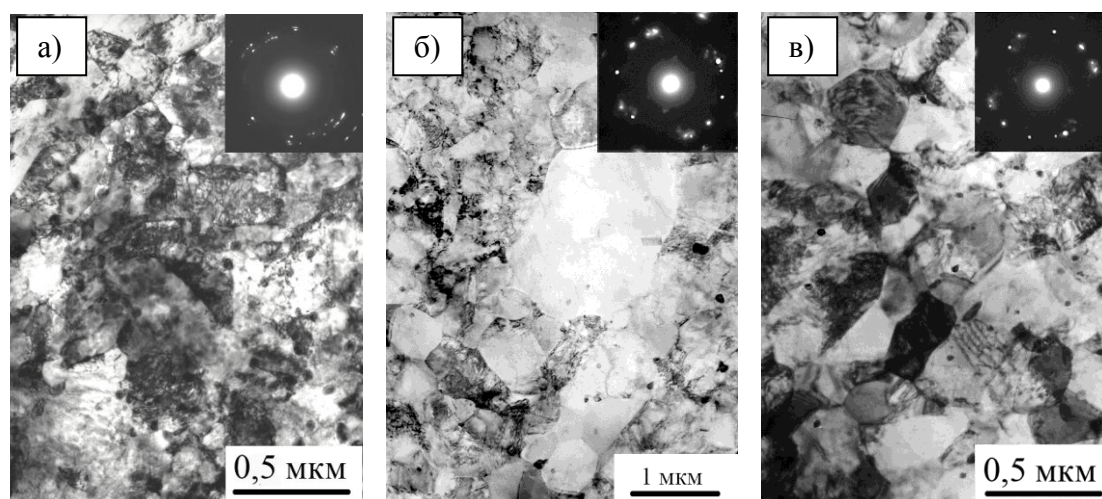


Рисунок 1 - Электронно-микроскопическое изображение и картины микродифракции структуры ультрамелкозернистого сплава Zr-1Nb а) состоянии после ИПД; б) после отжига при температуре 723 К, 1 час; в) после отжига при температуре 673 К, 12 часов

Электронно-микроскопические исследования микроструктуры сплава Zr-1Nb после часовых отжига в интервале температур 573-873 К проведенные в работе по-

казали, что ультрамелкозернистая структура сплава стабильна до температуры 723 К (рис. 2, кривая 1). Однако в процессе часового отжига при температурах 573 и 673 К наблюдается отпуск дефектной ультрамелкозернистой структуры: в объеме зерен уменьшается плотность дислокаций, а у границ зерен появляется полосчатый контраст. Более длительные (до 12 часов) отжиги при температуре 673 К также не приводят к росту элементов ультрамелкозернистой структуры (рис.1, б). Отпуск дефектной ультрамелкозернистой структуры незначительно влияет на микротвердость (рис. 2, кривая 2), что свидетельствует о стабильности механических свойств сплава после указанных отжигов.

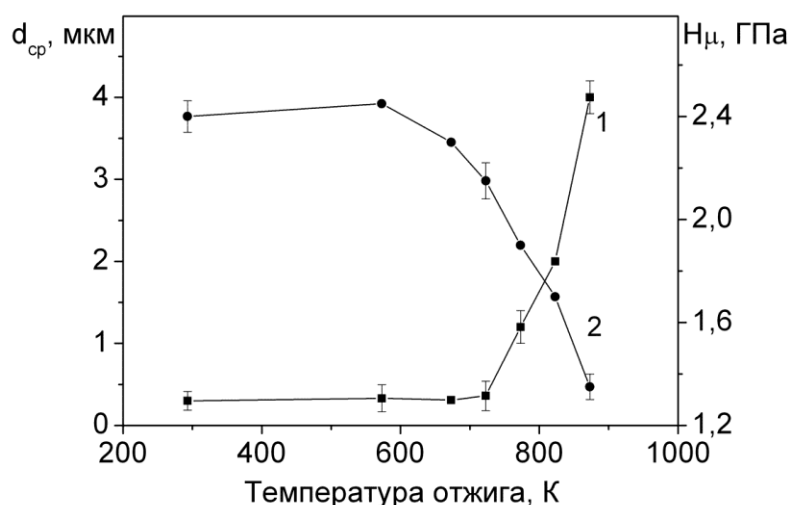


Рисунок 2. - Зависимость среднего размера элементов структуры сплава Zr-1Nb (кривая 1) и величины микротвердости (кривая 2) от температуры отжига

После часового отжига при температуре 723 К в структуре сплава появляются отдельные рекристаллизованные зерна с размерами 1-2 мкм (рис. 1, в). Плотность таких зерен мала, поэтому средний размер зерен в сплаве, определенный по темнопольному изображению, увеличивается незначительно. Однако величина микротвердости заметно уменьшается, а разброс ее значений возрастает. После отжига при температуре 723 К, 1 час рост зерен наблюдается во всем объеме сплава. При этом средний размер зерен не превышает 1,2 мкм. Отжиг при температуре 873 К, 1 час приводит к полной рекристаллизации структуры и росту зерен до 3-4 мкм. рекристаллизация и рост зерен во всем объеме приводит к снижению величины микротвердости до уровня, соответствующего исходному, до ИПД, состоянию сплава (рис. 2, кривая 2).

Таким образом, проведенные исследования показали, что ультрамелкозернистая структура исследуемого сплава Zr-1Nb и ее микротвердость стабильны при температурах ниже 723 К. Однако, для точного установления температурного интервала стабильности механических свойств исследуемого ультрамелкозернистого сплава необходимо провести исследования влияния температуры отжига на его прочностные и пластические характеристики при растяжении.

Список литературы

1. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жияев А.И., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденов Е.В. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 232 с.
2. Носкова Н.И., Мулюков Р.Р. Субмикрокристаллические и нанокристаллические металлы и сплавы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 278 с.
3. Грабовецкая Г.П., Мишин И.П., Колобов Ю.Р. Влияние дисперсного упрочнения на закономерности и механизмы ползучести меди с субмикронным размером зерен // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2009. – №2. – С. 38–43.
4. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
5. Stepanova E.N., Grabovetskaya G.P., Mishin I.P., Bulinko D.Yu Structure and Mechanical Properties of a Zr-1Nb Alloy, Obtained by the Method of Severe Plastic Deformation // Materials Today Proceedings. – 2015. – No.2. – 365 – 369.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT1-0

Г.В. ПРОСКУРНИКОВ¹, Е.Е. ДЕРЮГИН²

¹Томский политехнический университет. E-mail: galen.marek.00@mail.ru

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

DETERMINATION OF RESISTENCE TO CRACKING TITANIUM ALLOY VT1-0

G.V. PROSKURNIKOV¹, Ye.Ye. DERYUGIN²

¹Tomsk Polytechnic University. E-mail: galen.marek.00@mail.ru

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS

Annotation. The problem of the experimental determination of fracture toughness of titanium alloy VT1-0. Spend specific fracture energy calculation according to the method developed by ISPM SB RAS. The characteristics of crack resistance of titanium alloy VT1-0.

Трещиностойкость является одной из важных характеристик конструкционных материалов. Она характеризует способность материала сопротивляться зарождению и распространению трещин. В линейной механике разрушения разработаны определенные критерии трещиностойкости для хрупких и малопластичных материалов. Известно, что в металлах и сплавах, как правило, потери энергии на пластическую деформацию в вершине трещины велики. Поэтому прогнозирование разрушения, основанное на моделях для трещины Гриффитса [1], не пригодно для пластичных материалов. Стандартные испытания материалов на трещиностойкость проводятся при жестких ограничениях на размеры образцов. Толщина даже малопластичных образцов должна быть не менее 10 мм, чтобы соблюдать условие плоскодеформированного состояния, ограничивающее развитие зоны пластической деформации у вершины трещины.

В данной работе приводятся результаты оценки трещиностойкости титанового сплава VT1-0. В качестве основной характеристики трещиностойкости материала